



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Al/Si₃N₄:ZnO/pSi/Al Schottky Diyotların Akım-Voltaj Karakterizasyonu

 Erhan İBRAHİMOĞLU^{a,*},  Fatih ÇALIŞKAN^a,  Zafer TATLI^a

^a Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: erhanibrahimoglu@subu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1074946

ÖZET

Son yıllarda toksik ve doğaya zarar veren kimyasallar yerine doğal materyaller kullanılarak çeşitli nano malzemelerin sentezi ilgi çekmektedir. Biyolojik sentez yöntemi doğal malzemeler kullanılarak uygulanan bir sentez yöntemidir. Biyolojik sentez ile doğaya zarar veren ve toksik kimyasallar yerine indirgeyici ajan ve stabilizör olarak doğal katkı maddeleri kullanılarak üretilen nano boyutlu tozlar biyomedikal, enerji depolama gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Biyolojik yöntem ile sentezlenen nano partiküllerin diyotlarda kullanıldığında performansı nasıl etkileyeceği konusunda çalışmalar mevcut değildir. Bu çalışmada çinkooksit (ZnO) tozu hibiskus bitki ekstraktı kullanılarak biyolojik yöntemle sentezlenmiş ve ince film olarak p tipi silisyum altlık üzerine kaplanmıştır. Sentezlenen ZnO tozları X ışını kırınımı (XRD) analizi ile incelenmiş hegzagonal wurtize formunda olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın bir bölümü biyolojik sentez ile ZnO ince filmin kaplanmasına odaklanırken devamında elde edilen ZnO ince filmler silisyum nitrür (Si₃N₄) katkılanarak temel diyot parametrelerinden idealite faktörünün nasıl değiştiği incelenmiştir. Yapıya Si₃N₄ katkısı gerçekleştirilerek elektron deşik rekombinasyonunun azaltılması ve ara yüzey pasivizasyonunun artırılması amaçlanmıştır. Hazırlanan Si₃N₄ katkılı ZnO solüsyonu silisyum altlık yüzeyine 3000 devir/dakika dönme hızında 10 saniyede kaplanmıştır ve elde edilen ince filmler 400 °C'de tavlansmıştır. Hazırlanan ince film kaplamaların elektriksel karakterizasyonunu belirlemek amacıyla alüminyum ohmik ve doğrultucu kontaklar fiziksel buhar biriktirme (PVD) ile kaplanmıştır. Daha sonra taramalı elektron mikroskobu(FESEM) analizi ile diyotlar morfolojik olarak incelenerek kaplama kalınlığının ortalama 200 nm olduğu gözlemlenmiştir. Hazırlanan diyotlara Keithley 2400 cihazında karanlıkta akım-voltaj (I-V) analizi yapılmıştır. Elde edilen I-V analizinden Si₃N₄ katkılı ve katkısız diyotların idealite faktörleri sırasıyla 2,92 ve 4,17; doğrultma oranları ise 96,3 ve 10,8 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyolojik sentez, Çinko oksit, Silisyum nitrür, Diyotlar

Current-Voltage Characterization of Al/Si₃N₄:ZnO/pSi/Al Schottky Diodes

ABSTRACT

In recent years, the synthesis of various nanomaterials has been attracting attention by using natural materials instead of toxic and environmentally harmful chemicals. The biosynthesis is a green synthesis method to obtain nanoparticles using natural resources. Nano-sized powders synthesized by the green method, in which natural additives are used as reducing agents and stabilizers instead of harmful and toxic chemicals, are used in different applications such as biomedicine and energy storage devices. There are no studies on the effect of thin films prepared with the green synthesized nanoparticles on the performance of diodes. In this study, zinc oxide (ZnO)

nano-powders were synthesized by the green synthesis method using hibiscus plant extract and coated on p-type silicon substrate as a thin film. The synthesized powders were examined by XRD analysis and determined to be in the hexagonal wurtzite phase. Another part of the study focused on the coating of ZnO thin film by green synthesis. The ZnO thin films obtained by doping silicon nitride (Si_3N_4) were subsequently investigated to influence the ideality factor of the diode. It is aimed to reduce electron hole recombination and increase interfacial passivation by adding Si_3N_4 to the structure. The obtained Si_3N_4 doped ZnO solution was coated on the silicon substrate surface at a rotational speed of 3000 rpm for 10 seconds and the resulting thin films were annealed at 400 °C. Aluminum ohmic and rectifier contacts were coated with physical vapor deposition (PVD) to determine the electrical characterization of the thin film coatings. Then, the diodes were examined morphologically by FESEM analysis and it was observed that the average coating thickness was 200 nm. Current-voltage (I-V) analysis was performed on the prepared diodes with Keithley 2400 device in the dark. The ideality factors of the Si_3N_4 doped and undoped diodes from the obtained I-V analysis were 2.92 and 4.17, respectively; correction ratios were calculated as 96.3 and 10.8.

Keywords: Green synthesis, Zinc oxide, Silicon nitride, Diodes

I. GİRİŞ

Nanomateriyaller azalan partikül boyutu ve artan yüzey alanı gibi ayırt edici özellikleri nedeniyle son zamanlarda araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir [1]. 1-100 nm boyutunda olan nanopartiküller (NPs) benzersiz yüzey, optik, elektrik, biyolojik ve manyetik özelliklere sahiptir [2]. Bu nedenle son dönemlerde titanyum (Ti) [3], kobalt oksit (Co_3O_4) [4], magnezyum oksit (MgO) [5], çinko oksit (ZnO) [6], gibi metalik ve metalik olmayan birçok malzeme nano boyutlu olarak üretilerek farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalara gaz sensörleri [7], enerji depolama teknolojileri, güneş enerji sistemleri[8], sağlık sektörü gibi spesifik alanlar örnek olarak gösterilebilir. Bu nanopartiküllerden metal oksit olanlar optoelektronik aygıtlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Metal oksit NPs'ler arasında çinko oksidin (ZnO) mükemmel kimyasal stabilitesi, toksik olmaması, düşük maliyetli olması nedeniyle kullanım alanı geniştir. Ayrıca ZnO FDA (Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Birimi)'ne göre genellikle güvenli bir malzeme olarak raporlanmıştır [8]. ZnO'nun eksiton bağlanma enerjisinin yüksekliği (60meV), geniş bant aralığı (3,37 eV), UV ışımına karşı duyarlılığı onu optoelektronik alanında gözde bir malzeme haline getirmiştir [9,10].

ZnO büyük ölçüde kimyasal ve mekanik yöntemlerle sentezlenmektedir [11,12]. Mekanik metotlar pahalı ve enerji tüketimi yüksek olan yöntemlerdir. ZnO partiküllerin kimyasal üretiminde tehlikeli ve zararlı stabilizer ve indirgeyici ajanlar kullanılmaktadır. Araştırmalar yüksek enerji tüketimlerini azaltmak ve kullanılan kimyasalların çevreye verdikleri zararları minimize etmek üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle son yıllarda çevre dostu, ekonomik ve kolay uygulanabilir bir yöntem olan biyolojik sentez yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Biyolojik sentez yönteminde; kimyasal yöntemde kullanılan zararlı ve toksik kimyasallar yerine bitki ekstraktları (yaprak, meyve, çiçek, tohum vb) ve mikroorganizmalar (bakteriler,virüsler vb) kullanılmaktadır [13]. Bakteri ve virüs kullanılarak gerçekleştirilen yöntemlerde ekstra hücre kültürüne ihtiyaç duyulduğu için bitki ekstraktları kullanılarak gerçekleştirilen üretimler daha çok tercih edilmektedir. Bitki ekstraktları stabilizer ve indirgeyici ajan olarak hareket etmektedir. Literatür çalışmalarında akdeniz defnesi [14], tesbih ağacı [15], zeytin [16], muz [17] gibi farklı bitki ve meyve ekstraktları kullanılarak nano boyutlu ZnO tozları sentezlenmiştir.

Tüm avantajlarına rağmen ZnO elektron-deşik rekombinasyonu ve görünür ışıkta etkisiz kullanımı nedeniyle pratik uygulaması sınırlıdır. Başka malzemeler ile kompozit oluşturulması ya da katkılanması ile bu özelliklerin geliştiği literatür çalışmalarından gözlemlenmektedir. Çalışmada bu katkı malzemesi silisyum nitrid (Si_3N_4) olarak tercih edilmiştir. Si_3N_4 sert, yoğun bir refrakter malzemesidir. Si-N-Si yapısı iki bağdan ziyade üç bağ oluşturan azot ile sertlik verilir. Azot atomları silisyum etrafında tetrahedral biçimde kabaca düzenlenmektedir. Optoelektronik cihazlarda MIS (metal-yalıtkan-yarıiletken) yapılarında kullanılmaktadır [18]. Yapıda metal olarak adlandırılan kısım kontak malzemesi, katkılanan Si_3N_4 yalıtkan, altlık malzemesi olan silisyum yarıiletkenidir. Arayüzey

tabakası ya da katkı olarak yalıtkan bir malzemenin seçiminde en temel kriterler; yüksek dielektrik sabiti, yüzeyi pasivize edebilmesi, kontrollü akım-iletim mekanizmasına sahip olması, sızıntı akımını en aza indirebilmesidir [19,20].

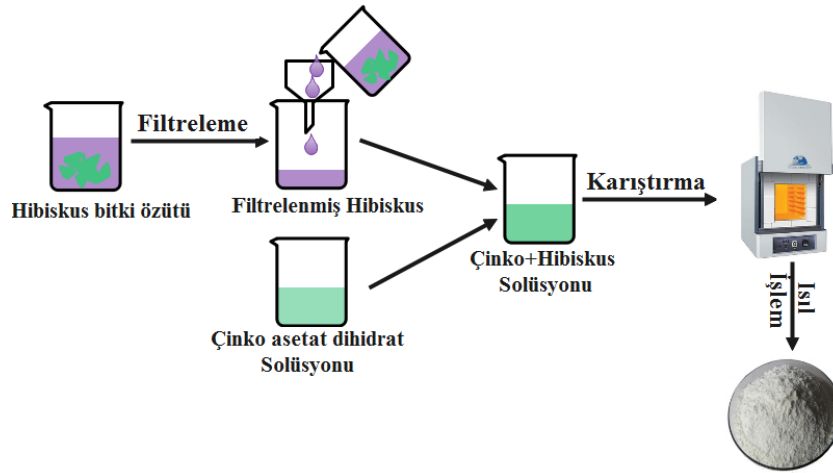
Son zamanlarda yapılan çalışmalarda nitrür esaslı ince filmler, yalıtkan tabaka olarak elektronları üzerinde toplayarak ara yüzeyi pasivize etmekte ve ters beslem akımını önlemektedir [21]. Böylece diyotların fotokatalitik özellikleri gelişmektedir. Nitrür ara filmler silisyumun oksijenle temasını önleyerek silisyum dioksit (SiO₂) tabakasının oluşmasını önlemektedir. Ayrıca silisyum nitrür (5.3 eV) silisyum dioksit oranla daha dar bant aralığına sahip olduğu için kızılötesi ve görünür ışıktaki etkili bir fotolüminans göstermektedir [22]. Bu çalışmada literatürden farklı olarak çinko oksit içerisine silisyum nitrür katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Silisyum nitrürün dielektrik sabitinin yüksek olmasından dolayı arttırmasını diyotun ters beslem (sızıntı) akımını azaltarak doğrultma oranını arttırması ve diyotu ideale yaklaştırması beklenmektedir. Üretilen diyotların karanlık ortamda akım voltaj karakteristikleri incelenmiştir. Ayrıca elde edilen ince filmler ve ZnO tozu kimyasal ve morfolojik olarak incelenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışmalar kapsamında çinko asetat dihidrat ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) %99.0 saflıkta, isopropanol (C₃H₈O), silisyum nitrür (Si₃N₄) kullanılmıştır. Altlık malzemesi olarak (100) oryantasyonunda, yaklaşık 380 µm kalınlığında bor (B) katkılı p-tipi silisyum kullanılmıştır. Tüm deneylerde temizlik işlemleri için saf su ve etil alkol kullanılmıştır. Hibiskus bitki ekstraktı Sakarya Türkiye'den temin edilmiştir.

A. ZnO NANO PARTİKÜLLERİN BİYOLOJİK SENTEZİ

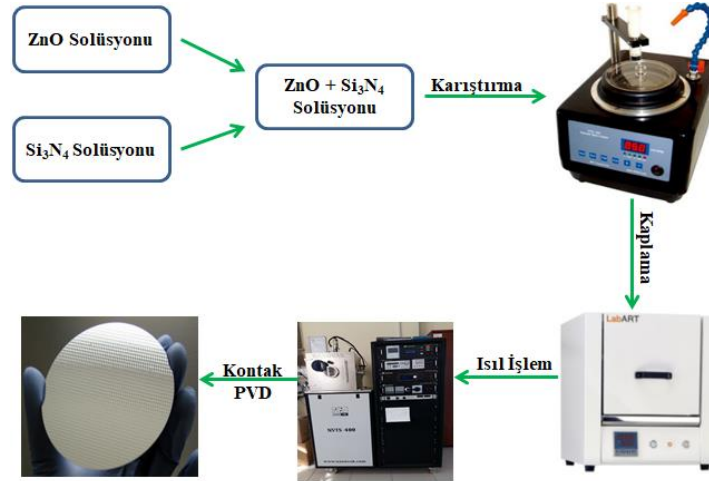
0,4 M çinko asetat dihidrat (ZnAc) tozu 80 ml isopropanol içerisine eklenerek 400 devir/dakika'da yarım saat oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra Hibiskus ekstraktı damla damla pH 7 olana kadar eklenmiştir. Bu sayede partiküllerin çökmesi ya da aglomere olması önlenmiştir. Eklenen bitki ekstraktı ile karışımın rengi beyazdan mora dönmüştür. Hazırlanan karışım 60 °C'de 4 saat karıştırılmıştır. Daha sonra elde edilen tozlar santrifüj edilmiş ve saf su ile yıkanmıştır. Hazırlanan tozlar 60 °C'de 6 saat kurutulmuştur. Elde edilen katı tozlar 500 °C'de 1 saat kalsine edilerek yapıdaki istenmeyen materyaller uzaklaştırılmıştır. Biyolojik yöntemle ZnO nano partiküllerin sentezi işlem basamakları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Biyolojik sentez yöntemiyle ZnO eldesine ait şematik gösterim.

B. Si₃N₄:ZnO KOMPOZİT SOLÜSYONUNUN HAZIRLANMASI VE KAPLANMASI

Si₃N₄:ZnO kompozitinin hazırlanmasında daha önce biyolojik olarak sentezlenmiş olan ZnO tozları kullanılmıştır. İlk olarak Si₃N₄ tozları etanol içerisinde 70 °C'de 3 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Farklı bir beher içerisinde 20 ml etanol içerisinde 0,8 M ZnO tozu oda sıcaklığında 1 saat çözündürülmüştür. Hazırlanan her iki solüsyon birleştirilerek oda sıcaklığında yaklaşık 30 dakika karıştırılmıştır. Elde edilen nihai solüsyon mikropipet yardımıyla altlık yüzeyine damlatılmış ve 3000 devir/dakikada 15 saniye kaplanmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Hazırlanan ince filmler kaplama işlemi sonrasında 400 °C'de 30 dakika tavlansmıştır.



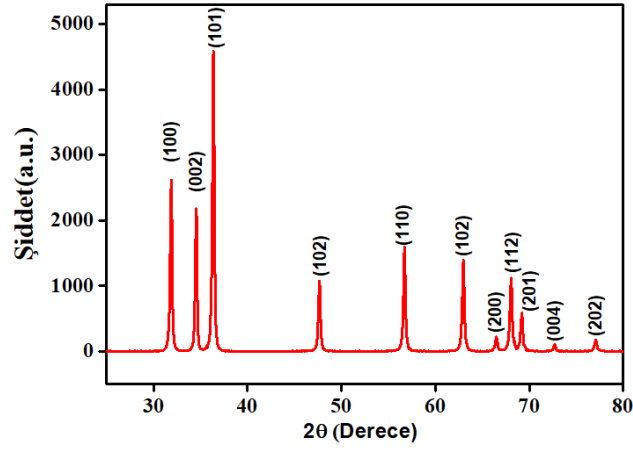
Şekil 2. Si₃N₄:ZnO fotodiyotların üretimine ait şematik gösterim.

Elektriksel karakterizasyonun yapılması için alüminyum ohmik ve doğrultucu kontaktları PVD cihazında kaplanmıştır. Böylece Al/Si₃N₄:ZnO/pSi/Al diyotun üretimi yapılmıştır. Üretim işlem adımları Şekil 2'de verilmiştir. Üretilen diyotlar elektriksel olarak Si₃N₄ katkılanmamış diyotla karşılaştırılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. XRD SONUÇLARI

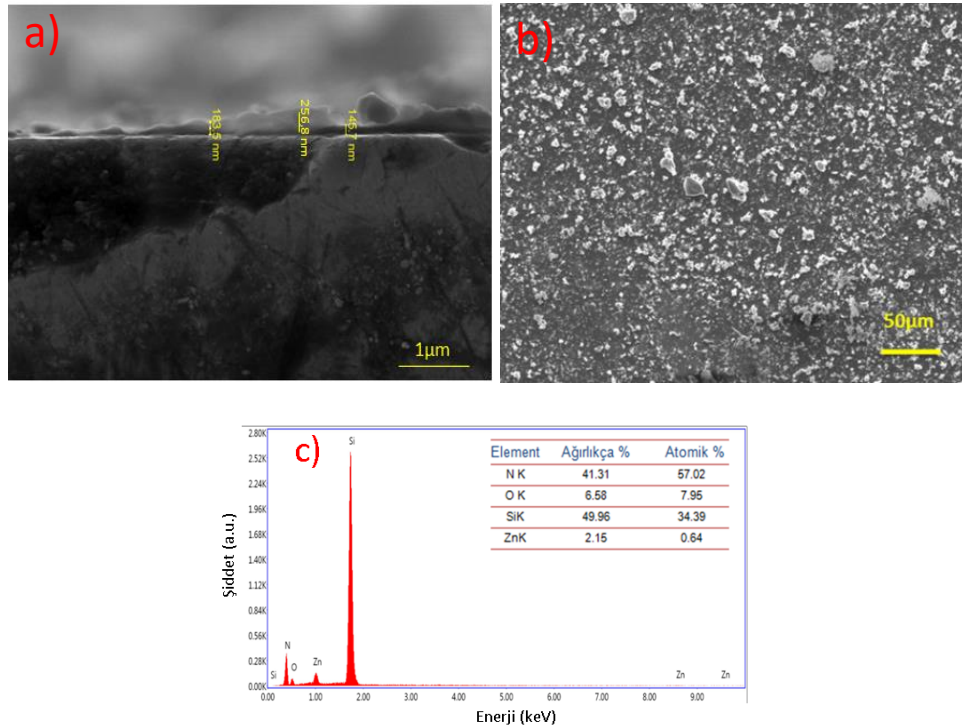
Biyolojik sentez yöntemiyle üretilen ZnO nano partiküllerin kimyasal olarak XRD analizi ile incelenmiştir. Şekil 3'te ZnO nano partiküllere ait XRD kırınım deseni verilmiştir. Verilen XRD analizi incelendiğinde kristalin ZnO NP'lerin başarı ile sentezlendiği gözlemlenmektedir. Sentezlenen ZnO NP'lerin tüm piklerin hegzagonal wurtzite kristal yapısında zincite fazına karşılık geldiği gözlemlenmektedir. Analiz sonuçlarında herhangi bir empürite faza rastlanmamıştır. 31,74°, 34,40°, 36,24°, 47,58°, ve 56,24°'de bulunan 2θ karakteristik pikleri sırasıyla ZnO fazının (100), (002), (101), (102), (110) kafes düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bu değerler JCPDS 36-1451 standart kart değerleriyle uyushmaktadır [23, 24].



Şekil 3. Biyolojik sentez yöntemiyle üretilmiş ZnO tozuna ait XRD sonuçları.

B. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (FESEM) VE ELEMENTEL ANALİZ (EDS) SONUÇLARI

Biyolojik sentezle üretilmiş ZnO tozu ve ticari silisyum nitrür tozu kullanılarak hazırlanan fotodiyotlar FESEM ile morfolojik olarak analiz edilmiştir. Kaplanan $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}$ ince filmlerin FESEM ve EDS sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Elde edilen FESEM görüntüsü incelendiğinde $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}$ ince filmlerin silisyum altlık yüzeyine kaplandığı gözlemlenmektedir. Şekil 4 (a)'da $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}$ ince filmlerin yan kesit görüntüsü incelendiğinde kaplamanın kalınlığı 145-257 nm aralığında elde edilmiştir. Şekil 4 (b)'de ise $\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}$ ince film kaplamanın üst yüzeyden görünümü verilmiştir. Döndürme kaplama tekniğinde oluşan merkez-kaç kuvvet etkisi nedeniyle homojen kaplamanın elde edilmesi zorlaşmaktadır.



Şekil 4. (a) $\text{Al}/\text{Si}_3\text{N}_4:\text{ZnO}/\text{pSi}/\text{Al}$ fotodiyotlara ait yan kesit görüntüsü, (b) Üst yüzeyin görünümü, (c) EDS sonuçları.

Şekil 4 (c)'de EDS analizine bakıldığında ise yapıda silisyum (Si), azot (N), oksijen (O) ve çinko (Zn) varlığı yapıda ZnO ve Si₃N₄'ün mevcut olduğunu göstermektedir. Silisyuma ait güçlü sinyalin varlığı hem silisyum nitür hem de silisyum altlık malzemesinden kaynaklanmaktadır.

C. I-V ANALİZ SONUÇLARI

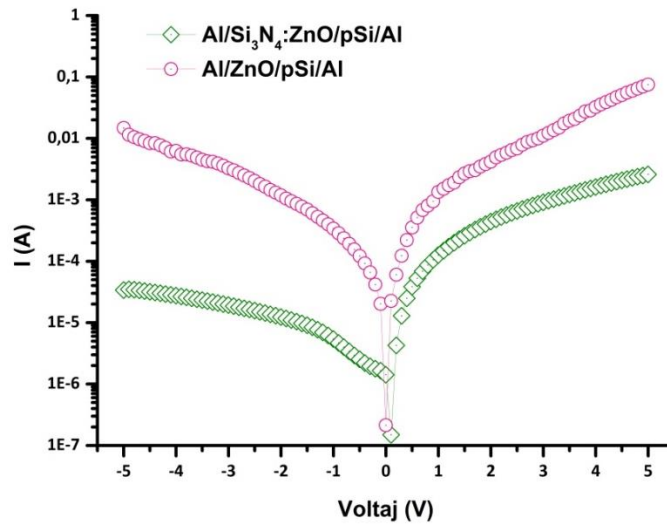
Makalede hesaplamalar Termiyonik Emisyon teorisine göre yapılmış ve hazırlanan diyotların ters doyum akımı (I_0) ile pozitif bölge akımı arasındaki farkın daha iyi anlaşılması için elde edilen I-V grafikleri standart diyot akım eğrisinin yerine akımın mutlak değeri alınarak yarı-logaritmik olarak gösterilmiştir. Termiyonik emisyon teorisine göre diyot denklemi denklem 1'de verilmiştir.

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Burada I_0 ters doyum akımını ifade eder ve diyot karakteristiği belirlenmesinde çok önemli bir parametredir. V diyot üzerine düşen gerilim, k Boltzmann sabiti T mutlak sıcaklıktır [25]. İdeal bir diyotta yarıiletken kaplanan kontakın ohmik davranması beklenmektedir. Yani bu kısımda I_0 'ın sifıra yakın olması gerekmektedir [26]. Pozitif bölge akımı ile ters doyum akımı arasındaki farkın artması da diyotun doğrultma oranının artması anlamına gelmektedir. Denklemde yer alan n değeri ise idealite faktörünü (n) ifade etmektedir. İdealite faktörünün 1'e yakın olması ideal bir diyot için beklenen durumdur. İdealite faktörü, diyodun ideal özelliklerden sapmasını gösteren boyutsuz bir parametredir [27]. Termiyonik emisyon teorisine göre aşağıda yer alan denklem 2'den idealite faktörü hesaplanabilir.

$$\frac{dV}{d \ln I} \cdot \frac{q}{k \cdot T} = n \quad (2)$$

İdealite faktörü (n), yarıiletken ile dengede arayüzey durumları (N_{ss}) ve metal yarıiletken arasındaki yalıtkan oksit tabakasının kalınlığı (δ) kalınlığından etkilenmektedir. n, hem yalıtkan tabaka kalınlığının artmasıyla hem de arayüzey durumlarının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır [28].



Şekil 5. Katkısız Al/ZnO/pSi/Al diyotu ve Si₃N₄ katkılı Al/Si₃N₄:ZnO/pSi/Al diyotlara ait yarı-logaritmik I-V eğrisi.

Şekil 5'te üretilen fotodiyotlara ait karanlık ortamda elde edilen I-V eğrileri verilmiştir. Katkısız ZnO ve Si₃N₄ katkılı ZnO diyotlarının I-V eğrileri Keityhley 2400 cihazında -5 ile +5 V gerilim aralığında ölçülmüştür. -5 ve +5 V gerilimde doğrultma oranları katkısız Al/ZnO/pSi/Al diyotu ve Si₃N₄ katkılı A/Si₃N₄:ZnO/pSi/Al diyotlar için sırasıyla 10,8 ve 96,3 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Diyot performansı kaplama kalınlığı, kaplamanın homojenitesi, sıcaklık, arayüzeyin büyütme süresinden oldukça etkilenmektedir [29, 30]. Si₃N₄'ün varlığı diyotun doğrultma oranını yaklaşık 10 kat arttırmıştır.

Şekil 6'da I-V'den elde edilen LnI-V eğrisi verilmiştir. Grafiğin eğiminden idealite faktörü hesaplanmaktadır. Verilen denklemler ve grafiklerden Si₃N₄ katkılı ve katkısız ZnO diyotların idealite faktörleri hesaplanmış ve Tablo 1'de paylaşılmıştır.

Tablo 1. Üretilen diyotların idealite faktörleri.

Numune	İdealite Faktörü (n)	Doğrultma Oranı (RR=I _F /I _R)
Katkısız Al/ZnO/pSi/Al diyotu	4,17	10,8
Al/Si ₃ N ₄ :ZnO/pSi/Al diyotu	2,92	96,3

Tablo 1'den görüleceği üzere katkısız Al/ZnO/pSi/Al diyotu ve Si₃N₄ katkılı A/Si₃N₄:ZnO/pSi/Al diyotlar için idealite faktörü sırasıyla 4,17 ve 2,92 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Si₃N₄ katkısının idealite faktörünü yaklaşık 1,5 kat arttırdığını göstermektedir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada p tipi silisyum üzerine biyolojik sentez ile üretilmiş ZnO nano partiküllerden hazırlanmış ZnO ince film kaplı Schottky diyotlarda Si₃N₄ katkısının doğrultma oranı ve idealite faktöründe meydana getirmiş olduğu değişiklikler araştırılmıştır. Çalışma kapsamında hibiskus bitkisi indirgeyici ajan olarak kullanılmış ve XRD analizleriyle ZnO nano partiküllerinin biyolojik olarak başarılı bir şekilde üretildiğini göstermektedir.

Çalışmada sentezlenen ZnO tozları kullanılarak hem Si₃N₄ katkılı hem de katkısız olarak solüsyon üretilmiştir. Elde edilen solüsyonlar sol-jel döndürme kaplama yöntemiyle silisyum altlık yüzeyine 3000 devir/dakikada 10 saniye boyunca kaplanmıştır. FESEM analizleri yüzeyde yaklaşık olarak 147-257 nm aralığında bir kaplama tabakası elde edildiği göstermektedir. EDS analizinden ise yapıda silisyum (Si), azot (N), oksijen (O) ve çinko (Zn) varlığı yapıda ZnO ve Si₃N₄'ün mevcut olduğu anlaşılmaktadır.

Elde edilen diyotlara karanlıkta akım-voltaj analizi yapılmıştır. Akım-voltaj eğrileri ve Termiyonik Emisyon Teorisinde yer alan denklemlerden diyotların idealite faktörleri hesaplanmıştır. Diyotların doğrultma oranları -5 ve +5 V gerilimde doğru beslem akımının ters beslem akımına oranından (RR=I_F/I_R) faydalanılarak hesaplanmıştır. Si₃N₄ katkılı ve katkısız ZnO diyotların sırasıyla idealite faktörleri 2,92 ve 4,17; doğrultma oranları ise 96,3 ve 10,8 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Si₃N₄ katkısının idealite faktörünü yaklaşık 1,5 kat; doğrultma oranını yaklaşık 10 kat arttırdığını göstermektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Agarwal, S. Menon and V. K. Shanmugam, "Functionalization of zinc oxide nanoparticles using *Mucuna pruriens* and its antibacterial activity," *Surf. Interfaces*, 19, 2020.
- [2] Y. A. Selim, M. A. Azb, I. Ragab and M. H. M. Abd El-Azim, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using aqueous extract of *Deverra tortuosa* and their cytotoxic activities," *Sci. Rep.*, no. 10, pp. 1–9, 2020.
- [3] R. Rajendhiran, V. Deivasigamani, J. Palanisamy, S. Masan and S. Pitchaiya, "Terminalia catappa and carissa carandas assisted synthesis of TiO_2 nanoparticles – A green Synthesis approach," *Materials Today:Proceedings*, pp. 2214-7853, 2020.
- [4] S. Z. Mohammadi, B. Lashkari and A. Khosravan, "Green synthesis of Co_3O_4 nanoparticles by using walnut green skin extract as a reducing agent by using response surface methodology," *Surfaces and Interfaces*, 2021.
- [5] S. Abinaya, H. P.Kavitha and M.Prakash, A. Muthukrishnaraj, "Green Synthesis of magnesium oxide nanoparticles and its applications:A rewiev," *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, no. 19, pp. 100368, 2021.
- [6] R. Resmi, J. Yoonus and B. Beena, "A novel greener synthesis of ZnO nanoparticles from Nilgiriantsusculiantus leaf extract and evaluation of its biomedical applications," *Materials Today: Proceedings*, pp. 2214-7853, 2021.
- [7] S. Steven Kaye, A. Dailly, M. Omar Yaghi and R. Jeffrey Long, "Impact of preparation and handling on the hydrogen storage properties of $\text{Zn}_4\text{O}(1,4\text{-benzenedicarboxylate})_3$ (MOF-5)," *Chem. Soc.*, pp. 46, 2007.
- [8] N. Wiesmann, W. Tremel and J. Brieger, "Zinc oxide nanoparticles for therapeutic purposes in cancer medicine," *J. Mater. Chem. B*, vol. 8, no. 23, pp. 4973-4989, 2020.
- [9] X. Y. Wan, F. L. Jiang, L. Chen, J. Pan, K. Zhou, K. Z. Su, J. D. Pang, G. X. Lyu and M.- C. Hong, "Structural variability, unusual thermochromic luminescence and nitrobenzene sensing properties of five Zn(ii) coordination polymers assembled from a terphenyl-hexacarboxylate ligand," *Cryst. Eng. Comm*, no. 17, pp. 3829–3837, 2015.
- [10] L. Zhong and W. Zinc, "Oxide nanostructures: growth, properties and applications, *Journal of Physics: Condensed Matter*," no. 16, pp. 829-858, 2004.
- [11] E. Tóthová, M. Senna, A. Yermakov, J. Kováč, E. Dutková, M. Hegedüs, M. Kaňuchová, M. Baláž, Z.L. Bujňáková, J. Briančin and P. Makreski, "Zn source-dependent magnetic properties of undoped ZnO nanoparticles from mechanochemically derived hydrozincite," *J. Alloy. Compd.*, pp. 1249-1259, 2019.
- [12] A. Narjis, H. ElAakib, M. Boukendil, M. ElHasnaoui, L. Nkhaili, A. Aberkouks and A. Outzourhit, "Controlling the structural properties of pure and aluminum doped zinc oxide nanoparticles by annealing," *J. King Saud Univ. Sci.*, 32, pp. 1074-1080, 2020.
- [13] R. K. Das, V. L. Pachapur, L. Lonappan, M. Naghdi, R. Pulicharla, S. Maiti and S. Brar, "Biological synthesis of metallic nanoparticles: plants, animals and microbial aspects," *Nanotechnol. Environ. Eng.* 2017.

- [14] F. Shabnam, J. Mina and K. F. Hassan, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: a comparison," *Green Chemistry Letters and Reviews*, pp. 1751-8253, 2019.
- [15] N. Minha, A. Usman, K. Bushra and C. Bin, "Green route to synthesize Zinc Oxide Nanoparticles using leaf extracts of Cassia fistula and Melia azadarach and their antibacterial potential," *Nature*, no. 10, pp. 9055, 2020.
- [16] A. Awwad, B. Albiss and A. L. Ahmad, "Green synthesis, characterization and optical properties of zinc oxide nanosheets using Olea europea leaf extract.," *Advanced Materials*, no. 5, pp. 520-524, 2014.
- [17] R. Jittiporn, T.T. Jiraroj, P. Nattanan and T. Thienpraserta, "Green synthesized ZnO nanosheets from banana peel extract possess antibacterial activity and anti-cancer activity," *Materials Today Communications*, pp. 101224, 2020.
- [18] O. Blázquez J. López-Vidrier, S. Hernández, J. Montserrat and B. Garrido "Electro-optical properties of non-stoichiometric silicon nitride films for photovoltaic applications," *Energy Procedia*, 2013.
- [19] V. V. Ichenko, V. V. Marin, S. D. Lin, K. Y. Panarn, A. A. Buyanin and O. V. Tretyak, "Room temperature negative differential capacitance in self-assembled quantum dots," *J. Phys. D Appl. Phys.*, no. 41, pp. 235107, 2008.
- [20] G. B. Sakr and I. S. Yahia "Effect of illumination and frequency on the capacitance spectroscopy and the relaxation process of p-ZnTe/n-CdMnTe/GaAs magnetic diode for photocapacitance applications," *J. Alloys Compd.*, no. 503, pp. 213-219, 2010.
- [21] B. H. Lee, L. Kang, R. Nieh, W. J. Qi and J. C. Lee, "Thermal stability and electrical characteristics of ultrathin hafnium oxide gate dielectric reoxidized with rapid thermal annealing," *Applied Physics Letters*, no. 76, pp. 1926, 2000.
- [22] N. Park, C. Choi, T. Seong, and S. Park, "Quantum Confinement in Amorphous Silicon Quantum Dots Embedded in Silicon Nitride" *Phys. Rev. Lett.* no. 86, pp. 1355, 2001.
- [23] R. Shashanka and D. Chaira, Optimization of milling parameters for the Synthesis of nano-structured duplex and ferritic stainless steel powders by high energy planetary milling, *Powder Technol.*, no. 278, pp. 35-45, 2015.
- [24] R. Yuvakkumar, J. Suresh, B. Saravanakumar, and et al. "Rambutan peels promoted biomimetic synthesis of bioinspired zinc oxide nanochains for biomedical applications," *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, no. 137, pp. 250-258, 2015.
- [25] H. Gu, L. Yu, J. Wang, J. Yao and G. Chen, "A sol-gel preparation of ZnO/graphene composite with enhanced electronic properties," *Materials Letters*, vol. 196, pp. 168-171, 2017.
- [26] O. Fesenko, G. Dovbeshko, A. Dementjev, R. Karpicz, T., Kaplas and Y. Svirko "Graphene-enhanced Raman spectroscopy of thymine adsorbed on single-layer graphene," *Nanoscale Res. Lett.*, 2015.
- [27] C. Soldano, A. Mahmood and E. Dujardin "Production, properties and potential of graphene," *Carbon*, vol. 48, pp. 2127-2150, 2010.
- [28] F. Z. Pür, "Au/Si₃N₄/n-Si (MIS) Yapıların Akım-Voltaj (I-V) Karakteristiklerinin İncelenmesi", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2012.

[29] S. Mridha, M. Dutta and D. Basak, "Photoresponse of n-ZnO/p-Si heterojunction towards ultraviolet/visible lights: thickness dependent behavior," *Mater Sci: Mater Electron*, no. 20, pp. S376–S379, 2009.

[30] Ç. Ş. Güçlü, A.F. Özdemir and D. A. Aldemir, "Mo/n-Si Schottky Diyotların Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj Karakteristiklerinin Analizi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7, no. 3, pp. 2142-2155, 2019.